

AIDES À LA DÉCISION

VERS UNE DÉCLINAISON au quotidien du modèle CHN

Depuis plusieurs années, Arvalis met au point un modèle de culture dynamique nommé « CHN » afin de répondre aux besoins de modélisation des flux de carbone, d'eau et d'azote au sein des systèmes de culture. Après une période de validation des différents modules de ce modèle, les premières valorisations agronomiques voient le jour.

Avec l'évolution rapide de la puissance de calcul et des outils de traitement de données, elles-mêmes de plus en plus nombreuses, il est aujourd'hui possible de rassembler les connaissances de diverses disciplines comme l'agronomie, les sciences du sol et l'écophysiologie au sein de modèles uniques : les modèles de culture^[1]. Ces modèles occuperont une place de plus en plus importante dans la recherche (caractérisation des essais, simulation de données...) mais aussi dans le développement agricole. Ils permettront de piloter notamment les apports d'eau et d'azote en s'adaptant aux conditions pédo-climatiques en cours de campagne.

Pour la grande majorité des modèles de culture existants, prioritairement dédiés à la recherche, leur usage dans l'aide à la décision « de routine » est souvent malaisé. Ces modèles représentent les processus des sols et des plantes de façon très fine, ce qui rend leur paramétrage complexe. Le parti pris dans le développement du modèle CHN est très différent : le modèle a été conçu dès le départ pour être mobilisé par les outils de pilotage. Il doit donc pouvoir être aisément paramétré, par exemple, par un agriculteur ou un conseiller. Il doit aussi fonctionner en cours de campagne avec une projection de la simulation jusqu'à la récolte. Dans ce but, le modèle CHN a été intégré dans le système d'information d'Arvalis (logiciel Panoramix) afin de bénéficier de ses avantages : accès aux bases de données techniques internes sur les sols ou encore sur les variétés, utilisation des modèles historiques de l'institut comme ceux des stades de la plante, projection de simulations jusqu'à la fin de la campagne reposant sur un calcul fréquentiel automatisé^[2], interopérabilité avec les logiciels Excel et R, ainsi que la facilité de portage sur un site internet.

Un modèle sol - plante - atmosphère

Le modèle de culture CHN est structuré en trois « compartiments » (figure 1). Le compartiment « sol » est relié à la base de données Sol d'Arvalis qui regroupe plus de 400 différents types de sol par région administrative et utilise des fonctions de pédotransfert. Une fonction de pédotransfert est un



Les modèles facilitent l'interprétation des informations agronomiques et, de ce fait, l'élaboration de conseils aux producteurs, en vue d'en améliorer la précision.

En savoir plus

La modélisation de l'indice de nutrition azotée (INN) par le modèle CHN contribue à l'élaboration d'une nouvelle méthode de raisonnement de la fertilisation azotée du blé - voir *Perspectives Agricoles* n° 445, juin 2017, p. 40.



modèle qui traduit les données disponibles (granulométrie, profondeur...) en données nécessaires au paramétrage de CHN (réserve utile, densité apparente...) mais plus difficilement accessibles.

Le compartiment « atmosphère » est relié à la base Météo d'Arvalis qui regroupe des données météo journalières à travers toute la France (plus

de 700 stations et plus de 25 années de données). Le compartiment « plante » est basé sur le principe de Monteith : la croissance foliaire est modélisée et la surface foliaire intercepte le rayonnement lumineux qui est converti en biomasse. La croissance racinaire est utilisée pour déterminer le stock d'azote et d'eau disponible pour la plante. La croissance de la plante est affectée par des stress hydriques et azotés, selon des fonctions de réponse au stress inspirées des travaux de Thomas R. Sinclair. Le développement de la culture est estimé par des modèles Arvalis issus de vingt ans de recherche.

Le compartiment « plante » est connecté à la base variétés d'Arvalis regroupant plus de 400 variétés de maïs, 350 variétés de blé tendre et 50 de blé dur. Cette base est mise à jour annuellement.

Les flux quotidiens de carbone, d'eau et d'azote sont représentés entre ces trois compartiments et calculés par tranche d'un centimètre de sol. Les flux de carbone (ou bilan humique) sont modélisés selon les formalismes et le paramétrage du modèle AMG^[3]. Les flux d'eau (ou bilan hydrique) sont modélisés en séparant l'évaporation de la plante de la transpiration du sol. Les flux d'azote (ou bilan azoté) utilisent les formalismes de simulation

basés sur les références du COMIFER^[4], de la bibliographie scientifique et des travaux propres à Arvalis. Quatre formes d'azote sont prises en charge : l'azote organique, l'urée, l'ammoniac et le nitrate.

Un important travail de validation de CHN est mené depuis 2013 sur le blé tendre, le blé dur et le maïs. Toutes les données de l'institut pouvant être utilisées pour la validation ont été rassemblées dans une base de données par espèce. Le modèle a ainsi été testé, pour chaque espèce, sur des centaines de situations réelles et des dizaines de lieux d'essais. Après une période de validation des différents modules, le modèle est jugé assez précis et robuste pour permettre ses premières valorisations agronomiques.

Des applications concrètes

Dans le cadre du Groupement Régional d'Expertise Nitrates (GREN) Midi-Pyrénées puis Aquitaine, la méthode utilisée dans le Sud-Ouest a été retravaillée afin de répondre aux préconisations actuelles du COMIFER. Dans ces régions, le reliquat d'azote « sortie d'hiver » est estimé à partir du bilan de masse de l'azote, calculé sur le précédent, et des conditions climatiques hivernales. CHN a été utilisé

FERTILISATION : un suivi en temps réel de l'INN

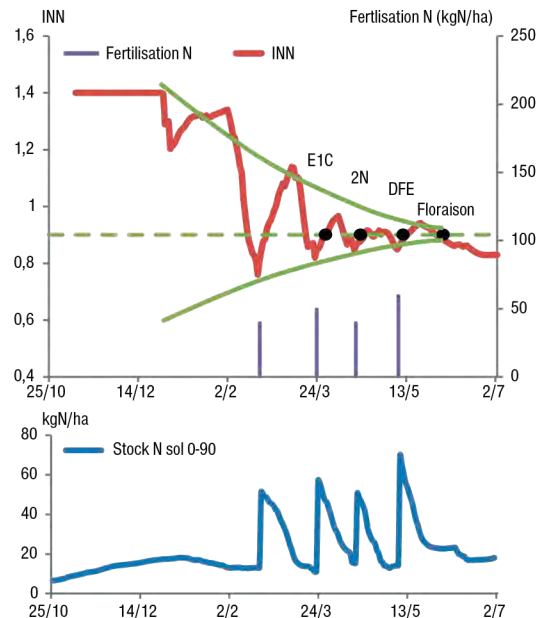


Figure 1 : Le modèle de culture CHN simule la croissance de la plante et son indice de nutrition azotée (INN) selon des scénarios de contraintes hydriques et azotées très variés.

CERNER LES INTERACTIONS SOL-PLANTE-CLIMAT : un modèle de culture, tel que CHN, cherche à représenter le plus finement possible les interdépendances entre la plante et son environnement

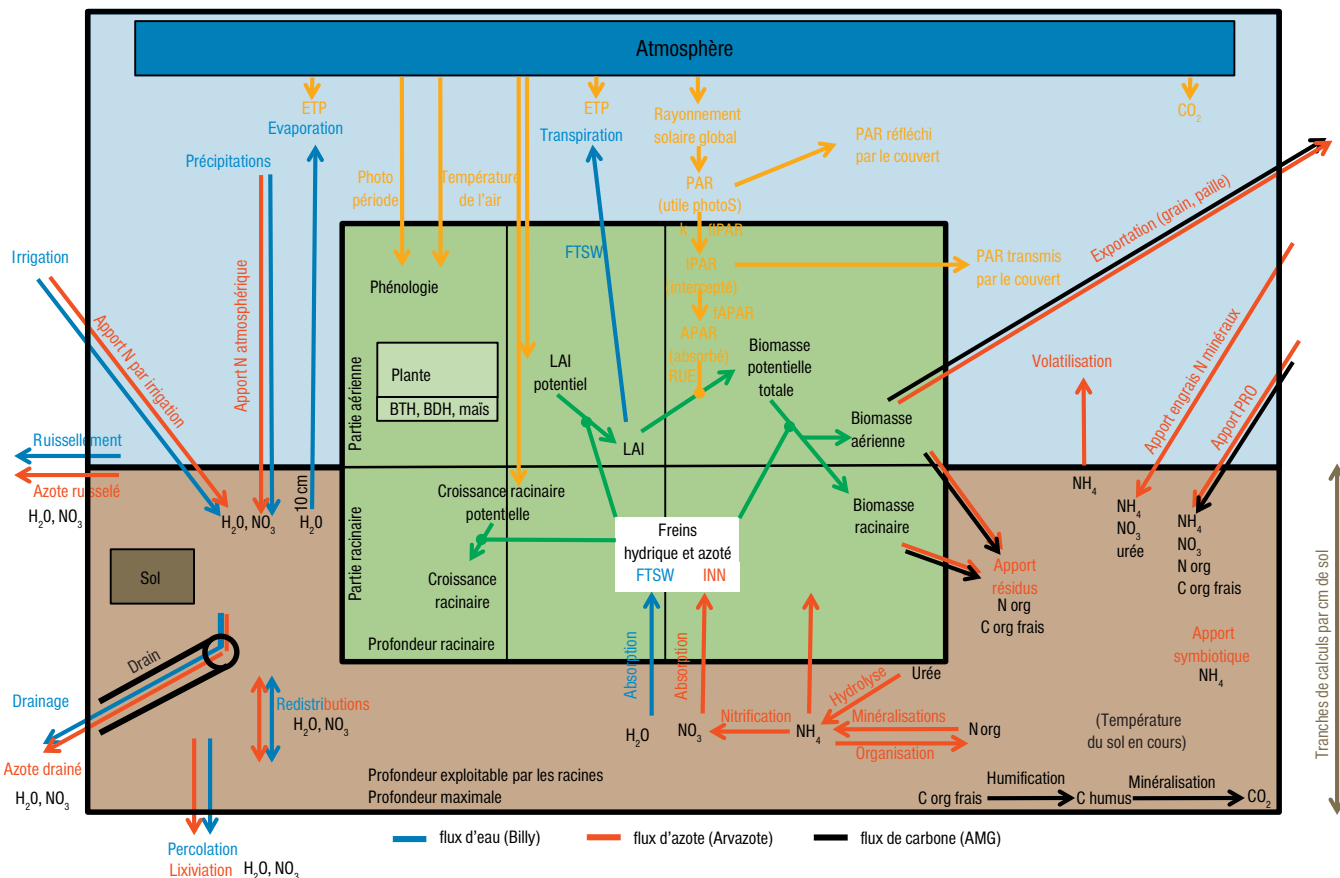


Figure 2 : Modélisation des flux d'azote (en rouge), d'eau (en bleu) et de carbone (en noir) entre les parties aériennes et racinaires d'une culture, l'atmosphère et le sol.

comme simulateur de données et a permis la mise au point d'une relation simple entre le reliquat d'azote minéral du sol et la quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan (à partir de la quantité d'azote nitrique potentiellement lixiviable à l'entrée de l'hiver et de la pluie hivernale).

D'autre part, le modèle est aussi régulièrement utilisé pour réaliser des diagnostics agronomiques de parcelles d'expérimentation, voire de parcelles d'agriculteurs. Il caractérise de façon assez fine les stress hydriques et azotés au court du cycle et quantifie leur impact sur le fonctionnement de la plante (mise en place de la surface foliaire interceptant le rayonnement lumineux et le convertissant en biomasse dont la croissance pilote l'absorption de l'azote).

Le modèle CHN sera aussi au cœur du développement d'une nouvelle version « Dynamic » de l'outil FertiWeb. Ce dernier tiendra alors compte de la météo réelle et intégrera une quantification dynamique des différents postes de fournitures du sol et des apports exogènes organiques et minéraux. Le bilan hydrique dynamique en ligne Irré-LIS, qui aide à piloter l'irrigation des cultures, bénéficiera

bientôt, lui aussi, du modèle CHN pour gagner en performance. Couplé à un modèle décisionnel de déclenchement de l'irrigation, il pourra fournir des calendriers prévisionnels d'irrigation selon différents niveaux de contraintes (durée du tour d'eau, volume limité ou non).

Autant d'exemples qui montrent que les enjeux de la modélisation sont de plus en plus présents en agriculture et le seront dans les développements futurs.

- (1) Pour plus d'informations sur les modèles agronomiques, lire l'article « Agriculture numérique : les mathématiques s'invitent dans les exploitations », Perspectives Agricoles n° 427, novembre 2015.
- (2) Le calcul fréquentiel pour la projection jusqu'à la récolte se base sur les données climatiques des vingt dernières années, desquelles on retient la médiane (ou un autre décile au choix).
- (3) Le modèle AMG a été développé en partenariat avec l'Inra, Agro-Transfert Ressources et Territoires, et le Laboratoire départemental d'analyses et de recherche de l'Aisne.
- (4) Comité français d'étude et de développement de la fertilisation, pôle de rencontre et de dialogue pour toute personne ou organisation concernée par les sciences et techniques liées à la fertilisation raisonnée.

Baptiste Soenen - b.soenen@arvalis.fr
 Pierre Bessard Duparc - p.bessardduparc@arvalis.fr
 ARVALIS - Institut du végétal